

A SZAKASZOS ÜZEMŰ SZÁRAZ ÉS NEDVES KEVERŐMALMI ŐRLÉS ÖSSZEHASONLÍTÁSA KVARC NAGYFINOMSÁGÚ ŐRLÉSE ESETÉN

RÁCZ ÁDÁM¹, OSZTÉNYI PÉTER²

¹ egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros, ejtracz@uni-miskolc.hu

² BSc hallgató, Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, 3515 Miskolc-Egyetemváros, oszitep@gmail.com

ABSZTRAKT

A nagy finomságú őrlmények előállításának gyakran alkalmazott berendezései a keverőmalomok, ahol az őrlést főként nedves közegben végzik. A felhasznált ipari víz mennyiségét csökkenteni lehet, ha nedves őrlés helyett száraz őrlést alkalmazunk, ugyanakkor a nagyfinomságú száraz őrlésnél olyan tapadási és hatékonysági problémák lépnek fel, ami miatt az eljárást további fejlesztése szükséges. A száraz őrlés fejlesztésének lehetséges módja, ha a már mélyen megkutatott és széles ipari körben alkalmazott nedves őrléssel hasonlítjuk össze, hogy a hasonlóságok és különbségek mélyebb megértése szolgálja az előrelépést. Jelen tanulmányban szakaszos üzemű keverőmalomban azonos beállítások mellett száraz és nedves őrlési kísérleteket végeztünk kvarcliszten. A medián szemcseméret változását vizsgáltuk a fajlagos őrlési munka függvényében, valamint adott fajlagos őrlési munkáknál leolvasott medián szemcseméret változását az igénybevételi energia függvényében. Az eredmények rámutattak, hogy száraz őrlésnél, nagyobb kerületi sebességek mellett, azonos feltételek esetén finomabb medián szemcseméretet lehet elérni.

Kulcsszavak: keverőmalom, nedves őrlés, száraz őrlés

1. BEVEZETÉS

A nedves keverőmalmi őrlés széles ipari körben alkalmazott eljárás, ahol a termék szemcsemérete gyakran eléri a <500 nm-es mérettartományt. A keverőmalmi száraz őrlés ezzel szemben főként az őrlés során fellépő aggregáció, agglomeráció jelensége miatt egy kevésbé elterjedt őrlési módszer. A keverőmalmi száraz őrlés jelentő fejlődésen ment át az elmúlt években köszönhetően több kutatócsoportnak munkájának [1–6]. Az igénybevételi modell a keverőmalom működését és az egyes üzemeltetési paraméterek a termék finomságra gyakorolt hatását írja le [7]. Az igénybevételi modellt részleteiben a nedves keverőmalmi őrlésre dolgozták ki, ugyanakkor a száraz őrlésre való alkalmazása is ismert [8]. Az igénybevételi modell alapján a malom őrlési tulajdonságát meghatározza a malomban időegység alatt bekövetkező igénybevételek száma (igénybevételi frekvencia SF_M) a malom által kifejtett, az egyes igénybevételek során szemcsékre ható energia (igénybevétel energia SE) [7]. Az igénybevételi energia (SE) meghatározható az alábbi összefüggéssel:

$$SE \propto SE_{GM} = d_{GM}^3 * \rho_{GM} * v_t^2$$

Ahol d_{GM} az őrlőtestek átmérője [m], ρ_{GM} az őrlőtestek sűrűsége [kg/m^3], v_t a keverő rotor kerületi sebessége [m/s] [7].

Jelen cikk célja a szakaszos üzemű nedves és száraz keverőmalmi őrlés összehasonlítása, a termék finomsága és a fajlagos őrlési munka közötti kapcsolat feltárása különböző rotor kerületi sebességek mellett kvarc őrlése esetén.

2. MÉRÉSI MÓDSZEREK

Az őrlési kísérlet során fehérvárcsurgói kvarclisztet alkalmaztunk, mely egy magas SiO_2 tartalmú anyag, mosott, őrlött, szűken osztályozott kvarcliszt termék. A kvarc mintaanyagot a hosszabb őrléshez való alkalmassága miatt választottuk, mivel aggregációra, agglomerációra kevésbé hajlamos.

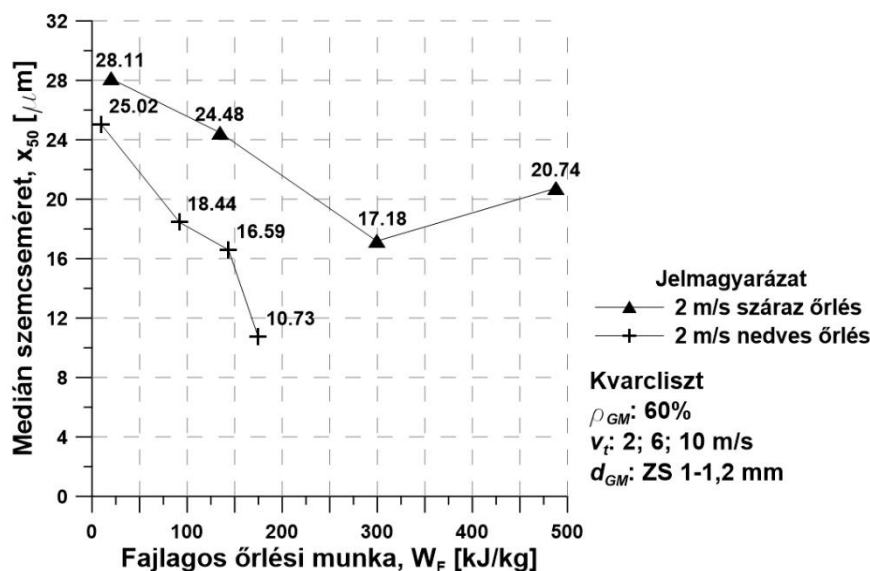
Az őrlési kísérletekhez egy tárcsás keverőmalmot alkalmaztunk, mely a Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet saját fejlesztésű, egyedi tervezésű és építésű berendezése. A tárcsás keverőmalom kerámia (Al_2O_3) béléssel és keverőtárcsákkal van ellátva, melyek nagy kopásállóságúak. A malom rotorján 5 db, speciális kialakítású keverőtárcsa található. A malom köpenyhűtéses, a hűtőközege víz. A malom hasznos térfogata 510 cm^3 . A malom hajtómotorjának üzemeltetése egy frekvenciaváltón keresztül történik, mellyel szabályozható a rotor fordulatszáma, illetve kerületi sebessége. A malom motor teljesítményszükségletét egy Carlo Gavazzi WM1-DIN típusú energiáméter segítségével mértük a kísérletek során.

Az őrlési kísérleteket követően az őrleményeket egy HORIBA LA-950V2 típusú lézeres szemcsenagyság-elemzővel vizsgáltuk, mellyel a minták szemcseméret-eloszlását határoztuk meg. A mérések nedves üzemmódban, minimum 1 perces ultrahangfürdőt követően végeztük el. A vizsgálat során a szemcseméret-eloszlás meghatározására a Mie elméletet alkalmaztuk. A minták fajlagos felületét a szemcseméret-eloszlásból határoztuk meg.

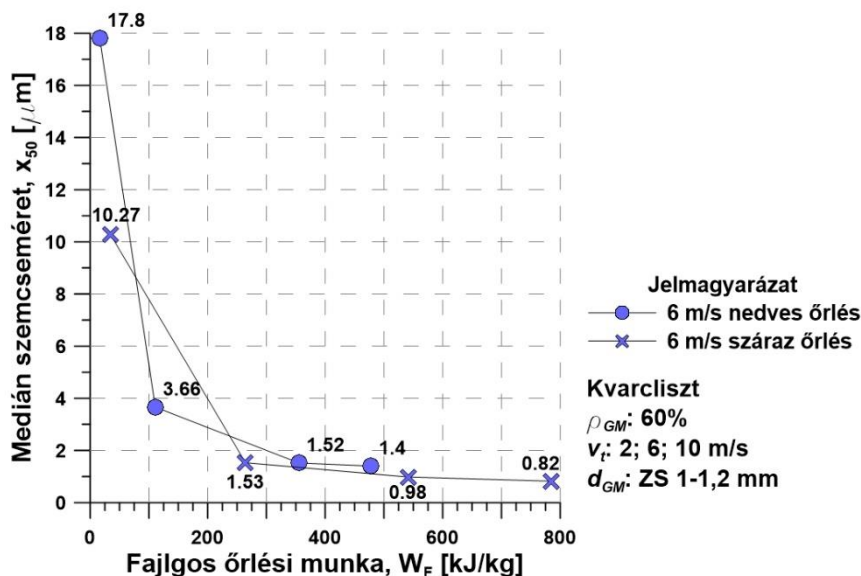
Az őrlési kísérleteket 60%-os őrlőtest töltési fok mellett végeztük. A feladott kvarc minden esetben 34,35g volt, miközben nedves őrlés esetén még 309,13g víz lett hozzáadva az anyaghoz. Az őrlési kísérleteket különböző rotor kerületi sebesség mellett végeztük, a pontos értékek 2; 6; 10 m/s volt. A különböző kerületi sebességeknél négy őrlési kísérletet végeztünk 1; 5; 10; 15 Wh munkafelvételig. Az alkalmazott őrlőtestek ZS 1-1,2 mm átmérőjű golyók voltak.

3. EREDMÉNYEK

A különböző kerületi sebességek mellett száraz és nedves úton előállított őrlemények medián szemcseméretének változását a fajlagos őrlési munka függvényében az 1-3. ábrákon láthatjuk. Alacsony, 2 m/s rotor kerületi sebesség esetén (1. ábra) a medián szemcseméret legkisebb értékét nedves őrlésnél éri el $10,73 \mu\text{m}$, 174,79 kJ/kg fajlagos munka felvétele mellett. Száraz őrlésnél a medián legkisebb értéke $17,18 \mu\text{m}$, 299,45 kJ/kg mellett. 488,16 kJ/kg fajlagos munka felvételénél száraz őrlés esetén a medián szemcseméret nem csökkent tovább, hanem növekedett, mely őrlés során fellépő aggregálódás, agglomerálódás jelenségével magyarázható.



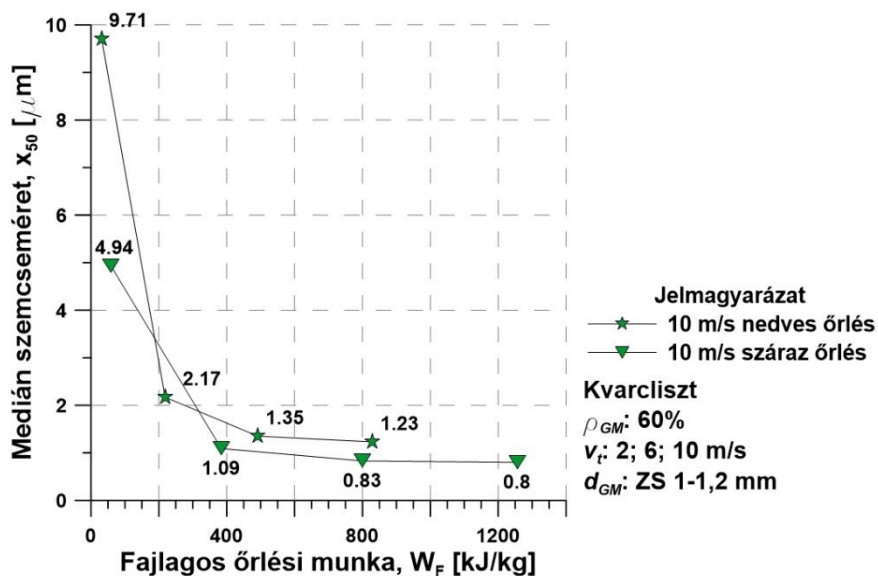
1. ábra 2 m/s száraz és nedves őrlés medián szemcseméreteinek ábrázolása a fajlagos őrlési munka függvényében



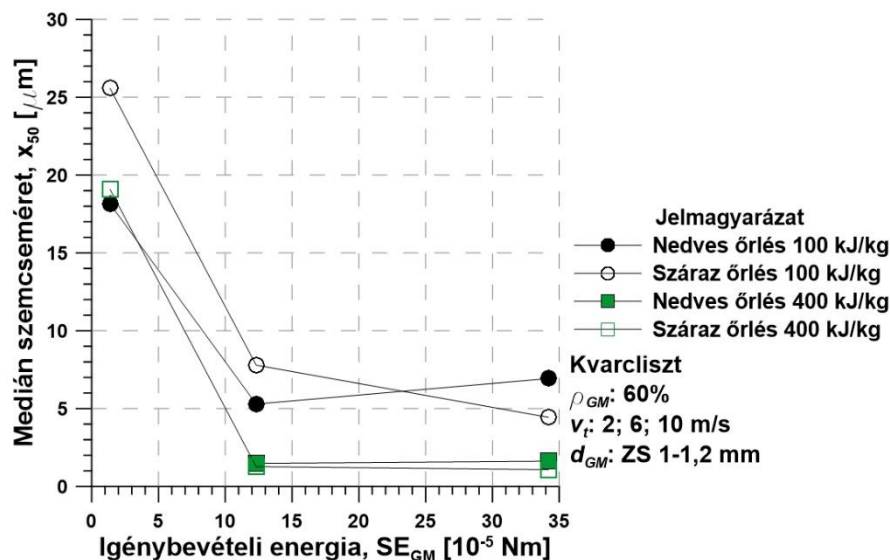
2. ábra 6 m/s száraz és nedves őrlések medián szemcseméreteinek ábrázolása a fajlagos őrlési munka függvényében

6 m/s rotor kerületi sebesség esetén (2. ábra) az őrlés kezdeti szakaszában, alacsony fajlagos őrlési munka befektetések mellett a medián szemcseméret jelentősen csökken száraz és nedves őrlés esetén is. A legkisebb medián szemcseméretet száraz őrlésnél 784,06 kJ/kg fajlagos őrlési munka mellett érték el, értéke 0,82 μm-t. Nedves őrlésnél a legkisebb medián 1,40 μm, 478,25 kJ/kg fajlagos őrlési munka mellett.

A legjelentősebb medián szemcseméret csökkenést 10 m/s őrlési kísérleteknél érték el (3. ábra), minimális értéke 0,80 μm száraz őrlésnél, 1256,09 kJ/kg esetén. Nedves őrlésnél a medián szemcseméret legkisebb értéke 1,23 μm, 830,12 kJ/kg-nél.



3. ábra 10 m/s száraz és nedves őrlések medián szemcseméreteinek ábrázolása a fajlagos őrlési munka függvényében



4. ábra Medián szemcseméret változása az igénybevételi energia függvényében

Az igénybevételi energia, mely a malom adott üzemeltetési paraméterei mellett az őrlőtestek maximális mozgási energiájával egyenlő, lehetőséget biztosít a különböző kerületi sebességek mellett elvégzett őrlési kísérletek eredményének összehasonlítására, amennyiben a szemcseméretet adott fajlagos őrlési munka befektetés mellett vizsgáljuk meg. A 4. ábrán a száraz és nedves körülmények mellett kapott őrlmények medián szemcseméretét láthatjuk az igénybevételi energia függvényében, 100 és 400 kJ/kg fajlagos őrlési munka mellett. Az igénybevételi energia növelésével kezdetben jelentősen csökken az őrlemény medián szemcsemérete, majd közel stagnál 400 kJ/kg mellett, míg nedves őrlésnél csökken, száraz őrlésnél kissé növekedik 100 kJ/kg fajlagos őrlési munka mellett. Összességében megállapítható, hogy az alacsonyabb, 100 kJ/kg fajlagos őrlési munka befektetés mellett alacsonyabb igénybevételi energia esetén a száraz őrlés hatékonyabbnak bizonyult, mint a nedves őrlés. A nagyobb, 400 kJ/kg fajlagos őrlési energia befektetés esetén a száraz és nedves őrlés úton előállított őrlmények medián értékei nagyon közel esnek egymáshoz, de a nagyobb igénybevételi energiák esetén ($> 12 \cdot 10^{-5}$ Nm) a száraz őrlés némileg alacsonyabb medián szemcseméretet eredményezett.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Száraz és nedves keverőmalmi őrléseket végeztünk különböző rotor kerületi sebességek mellett kvarc feladási anyagot alkalmazva. 2 m/s-os rotor kerületi sebességnél kevésbé hatékony az őrlés, mint a nagyobb kerületi sebességeknél, a medián szemcseméret kisebb mértékben csökken. Az igénybevételi energia növelésével eredményesebbé válik az őrlés, az őrlmények medián szemcsemérete csökken a vizsgálati tartományban. Az elvégzett kísérleti eredmények rámutattak, hogy a nehezen őrlhető, de betapadásra, aggregációra nem hajlamos kvarc esetén a száraz keverőmalmi őrlés alacsonyabb medián szemcseméretet eredményez, mint a nedves őrlés azonos fajlagos őrlési munka befektetés és igénybevételi energia mellett.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. A tanulmányban bemutatott kutatás a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János kutatási ösztöndíja támogatásával valósult meg.

Irodalom

- [1] O. Altun, H. Benzer, U. Enderle, The effects of chamber diameter and stirrer design on dry horizontal stirred mill performance, *Miner. Eng.* 69 (2014) 24–28. doi:10.1016/j.mineng.2014.07.008.
- [2] O. Altun, H. Benzer, U. Enderle, Effects of operating parameters on the efficiency of dry stirred milling, *Miner. Eng.* 43–44 (2013) 58–66. doi:10.1016/j.mineng.2012.08.003.
- [3] O. Altun, H. Benzer, A. Toprak, U. Enderle, Utilization of grinding aids in dry horizontal stirred milling, *Powder Technol.* 286 (2015) 610–615. doi:10.1016/j.powtec.2015.09.001.
- [4] P. Prziwara, S. Breitung-Faes, A. Kwade, Impact of the powder flow behavior on continuous fine grinding in dry operated stirred media mills, *Miner. Eng.* 128 (2018) 215–223. doi:10.1016/j.mineng.2018.08.032.
- [5] P. Prziwara, S. Breitung-Faes, A. Kwade, Impact of grinding aids on dry grinding performance, bulk properties and surface energy, *Adv. Powder Technol.* 29 (2018) 416–425. doi:10.1016/j.appt.2017.11.029.
- [6] Á. Rácz, L. Tamás, I. Gombkötő, B. Csőke, J. Faitli, Effect of the milling parameters on the product dispersity and energy consumption in a continuous dry air- transported stirred media mill, *Proc. 15th Eur. Symp. Comminution Classif.* (2017) 1–5.
- [7] a. Kwade, Mill selection and process optimization using a physical grinding model, *Int. J. Miner. Process.* 74 (2004) S93–S101. doi:10.1016/j.minpro.2004.07.027.
- [8] Á. Rácz, B. Csőke, Application of the product related stress model for product dispersity control in dry stirred media milling, *Int. J. Miner. Process.* 157 (2016). doi:10.1016/j.minpro.2016.09.005.